数学与企业创新

张平文
北京大学 数学科学学院 北京 100871

摘要　国家的创新发展与数学密不可分，其中应用数学的发展主要由国家需求驱动，具体体现在科学发现、国防建设和企业创新方面。现阶段我国经济已进入创新驱动发展时期，企业作为国家经济活动的主要参与者，其创新发展离不开数学的支持。对于如何通过数学来促进企业创新，文章提出了更好地“提出问题”、更好地“解决问题”、更好地“反馈效果”和更好地“评价成果”4 个需要重视的方面。最后，对数学促进企业创新的前景和重要意义进行了展望。

关键词　创新驱动发展战略，应用数学，企业创新，新型研发机构

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210123003

1 国家创新驱动发展需要数学

近年来，我国经济发展进入到一个新的阶段。经济总量已经上升到全球第二，正在从大国昂首走向强国；与此同时，受人口老龄化、生态环境保护标准升级、国际局势深刻变化等多种因素共同影响，我国经济发展也面临着不少困难和挑战，经济下行的压力加大，经济增长方式正由传统的资源密集型、劳动密集型逐渐向知识密集型和资本密集型转变。我国是地大物博、人口众多的社会主义国家，发展中遇到的很多问题都没有现成的经验或路径可以借鉴、参考，这就迫切要求我们提出更多的原创性解决方案，独立自主地面对和处理这些问题，走出一条富有中国特色的发展道路。

特别是 2020 年新冠肺炎疫情暴发以来，全球经济增长都受到极大影响。截至目前，包括美国在内的全球多数国家仍然处于疫情蔓延和经济下行的双重压力下；我国在率先实现复工复产的情况下，2020 年国内生产总值增长 2.3%，经济恢复好于预期。同时，在中美经贸摩擦的持续影响下，中美在经济、科技、文化和政治等各个领域的竞争将进一步加剧，我国发展面临的国际环境日趋严峻。

*在这样的背景下，创新愈发成为当前我国经济社会发展的第一驱动力，自主创新能力也已成为综合国力的一个核心要素。*党的十八大深刻指出，要坚持走中国特色自主创新道路，实施创新驱动发展战略。2016 年 5 月，中共中央、国务院发布了《国家创新驱动发展战略纲要》。2021 年 3 月，十三届全国人大四

修改稿收到日期：2021 年 4 月 7 日

次会议表决通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑，面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，完善国家创新体系，加快建设科技强国①。创新驱动发展战略的实施，是我国根据世情的新变化、国情的新特征、科学发展的新要求作出的重要战略部署，是我国在当前“百年未有之大变局”下屹立于世界民族之林的重要根基。

创新驱动发展的关键是科技创新。基础研究作为创新之源、强国之基，历来受到以习近平同志为核心的党中央高度重视。党的十九大报告明确指出，必须瞄准世界科技前沿，强化基础研究，以实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破。

作为一门基础科学，数学不仅是自然科学、社会科学、工程技术的基础，还在信息技术、经济金融和国家安全等领域占据核心地位。各种原创性方法的提出，绝大多数时候需要数学的支持，这一点已经在大量的科研或工程领域得到了证明。① 从科学史上来看，数学在人类历史的各个阶段始终是科学技术实现重大发展的先导和支柱；② 从国家实力来看，17世纪以来的世界强国都是数学强国，发达国家一直把保持在数学研究与应用方面的领先地位作为其战略目标。2019年7月，科学技术部、教育部、中国科学院、国家自然科学基金委员会联合制定了《关于加强数学科学研究工作方案》②，这充分表明国家对于数学学科的高度重视，以及对其在国家创新发展中进一步发挥重要作用的期许。

2 应用数学的发展与国家需求密不可分

为了更好地理解数学特别是应用数学如何在国家和企业创新过程中发挥作用，有必要首先梳理数学的发展历史。在牛顿时代及其之前，数学和其他学科交织在一起，并没有加以明显的区分，很多知名学者既是某个领域的专家，同时也是优秀的数学家。直到20世纪初，数学才逐步从其他学科中分离出来，成为一门独立的学科。可以看出，数学学科伴随着人类文明的演化而不断进步，它的发展动力主要来自人类对于知识本身的不断探索和对美的不懈追求。

（1）应用数学的发展则主要由国家需求所驱动，首先表现在国防军事领域。第二次世界大战时期，战争的需要促使应用数学进入飞速发展阶段。例如，在研制原子弹、设计高性能飞机、破译敌方密码和调配军用物资等过程中，应用数学扮演了极为关键的角色。作为应用数学的有力助手，计算机也在这个时期被发明出来，并不断得到改进；很多原来仅仅在理论上可行的数学研究结论，通过计算机的快速运算，开始变得具有实际意义；很多复杂问题都能够借助计算机在有限的时间内得出令人满意的结果。可以说，正是由于计算机的出现，应用数学才逐渐成为了一个真正意义上相对独立的学科方向。我国的应用数学发展，主要从1956年启动的新中国第一个中长期科技规划——《1956—1967年科学技术发展远景规划》开始起步[1]。新中国成立伊始，为保卫国家安全、恢复和发展国民经济，我国组织研制了“两弹一星”等大国重器，并开展了一系列重大工程项目建设，这些项目的实施都离不开应用数学。为此，我国应用数学家肩负着国家和人民的重托，在几乎一穷二白的基础上，

① 中共中央 国务院．中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要．[2021-03-13]. http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564_6.htm.

② 科技部办公厅，教育部办公厅，中科院办公厅，自然科学基金委办公室．《关于加强数学科学研究工作方案》的通知．[2019-07-12]. http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/qtwj/qtwj2019/201907/t20190718_147853.html.

开始了艰难而光荣的扬帆起航，并陆续收获了很多重要的科研成果。特别是计算数学、概率统计、偏微分方程等应用数学学科方向，在此期间取得了很大进步。

（2）应用数学也在科学研究与发现的过程中展示出强大力量。数学研究因其前瞻性和自由性，能够给很多科学发现提供思想上的指引。模型化、极限思想、对偶方法等数学思想，都对科学发现产生了深刻影响；同时，很多前期较为成熟的数学方法，后期也会变成科学研究的有力工具，就像黎曼几何在相对论研究中所起到的作用那样。近些年来，我国学者积极探索应用数学与相关学科的交叉融合，在高精度算法、多尺度建模等新兴研究领域中取得了一系列颇有价值的科研成果，得到国际应用数学界的高度评价。

（3）应用数学还在企业经营变革和产业转型发展等方面发挥了重要推动作用。例如，因战争和国防需要而发展起来的运筹、优化、计算等方向的研究成果，在二战后欧美许多企业的生产和管理中又得到了广泛应用；通过提高企业生产效率、改进生产工艺，产生了巨大的经济效益。我国计算数学领域的著名专家冯康，在1965年前后独立于西方发明了有限元方法[2]，这是一种解决复杂工程分析计算问题的有效手段。除了在国防军工和航空航天领域发挥重要作用外，该方法在机械制造、工程建设、材料加工、石化能源等行业也具有非常广阔的应用场景。

由上可见，应用数学发展的第一推动力和具体的落地方向都是国家需求，具体表现在国防建设、科学发现和企业创新等方面。当前，我国应用数学在服务国防建设和科学发现方面已经取得了一定的成绩，但是在促进企业创新方面，受限于现有观念和机制等因素，还有很大的提升空间。

3 由应用数学驱动的企业创新已是大势所趋

企业是我国经济社会运行的细胞，也是我国实施创新驱动发展战略的重要主体。数学作为创新驱动发展战略的动力源泉，在企业的创新活动中无疑扮演着极为重要的角色，其能够为解决企业面临的关键问题、核心问题提供原创性思想和基础理论。特别是在很多大型企业和高科技企业，利用以数学算法为基础构建的工业软件，开展设计、生产和管理等企业核心业务，已是大势所趋。从宏观层面来说，国家在2020年倡导的数字化转型，就是要利用数学理论及数字技术，促进各行各业朝着数字化、智慧化的方向转型或升级，发展数字经济，构建数字政府、智能军事等全新的生态和组织形式。自新冠肺炎疫情暴发以来，数字经济相关产业的亮眼表现，已充分说明了这一点。

其中，华为技术有限公司（以下简称“华为”）就是利用数学来实现企业创新的一个典型示例。华为2G到4G网络融合的算法是由一位俄罗斯青年数学家所提出。该算法解决了多种通信制式长期共存的问题，构建了简约化的无线网络结构，有效降低了通信成本，从而助力华为成为一家世界知名的通信设备供应商。而华为5G的研发则是基于土耳其数学家Erdal Arikan的研究成果，它为华为在世界新一代无线通信领域中抢占先机发挥了关键作用。可以预见，华为后续在6G及其他前沿技术的研发过程中，数学家也将发挥重要作用。

数学在华为走向通讯行业国际前列的过程中起到了至关重要的作用，同时形成了企业重视数学并将数学与其各业务部门深度融合的“华为模式”。这一模式有如下特点：① 华为充分利用全世界的优秀数学资源为企业创新服务。依托此前华为在俄罗斯、法国等国建立的数学研究所，以及近年来与众多国内高校、科研机构共建的数学实验室等，华为吸引和组织全球数学人才参与企业创新工作。② 华为将公司的700位数学博士广泛地分布在不同的业务部门和生产线。这些数学博士将部门的业务需求转化为工程问题，再将

工程问题转化为数学问题，从而促进关键数学问题的快速解决。③ 华为通过多网络融合及5G创新等若干具体的成功案例，在企业内部树立了重视数学、尊重数学家的企业文化，并形成了应用数学促进企业创新的良性循环。总体来看，“华为模式”是可以推广和复制的；国内有条件、有意愿的大中型企业在利用数学促进创新的过程中，可以参考这一模式，并结合自身特点进行有益的探索和推进。

4 数学如何促进企业创新

数学促进企业创新，是一项复杂的系统性工程，需要我们遵循其自身规律。① 数学促进企业创新不可能“一蹴而就”。虽然利用数学促进企业创新是当前一项较为紧迫的工作，但是也不能操之过急。毕竟对于每一家企业而言，创新都是在走一条此前未曾走过的道路，必然存在着一定的风险。因此，企业需要沉下心来，稳妥制定好顶层规划和推进策略。② 企业运用数学创新不能“一拥而上”。每个企业都有各自的业务特点、经营规模、发展阶段等，“一拥而上”地向数学要企业发展的答案显然是行不通的，“百花齐放”才是更可行的形式。企业应该根据自己的实际情况，选择最为合适的道路。③ 企业创新也不能靠数学“单打独斗”。为推动企业创新发展和产业转型升级，单靠数学学科或数学家的力量是远远不够的，还需要计算机、工程、管理等不同领域的专家共同加入，整合多方力量，更好地帮助企业塑造核心竞争力。

具体而言，为更好地发挥数学促进企业创新的作用，主要应做好4个方面的工作。

4.1 更好地“提出问题”

数学是一门基础学科，与企业的实际工程问题之间存在天然的距离。数学家与企业技术专家之间如果没有一个共同的语境来进行交流，企业在设计、研发、生产、销售等环节中存在的工程技术难题就难以抽象、转化为数学家更容易理解的数学问题。事实上，问题凝练转化的工作非常重要，很多情况下，问题的成功转化就意味着问题已经解决了大半。

因此，我们首先需要加大应用数学人才的培养力度，并把这些人才持续输送到有需要的企业中。只有这些应用数学人才真正地融入企业，在企业的长期实践中认识和理解企业需求，并通过数学的语言描述出来，才能在企业和科研院所之间搭建相互理解的桥梁。例如，由于华为的数学博士们充分掌握了华为生产和管理中面临的各类问题，有了这些拥有专业数学背景的华为技术专家，华为的业务需求经过抽象和转化，就能够很快地被科研院所的数学家所理解。最近，华为提出的“华为十大数学问题”，吸引了国内外众多应用数学家的目光。未来，中国工业与应用数学学会还将牵头并联合一批企业，针对智能制造等领域，凝练和整理关键数学问题，帮助数学家更好地认识和理解相关产业界和企业界的数学需求。

当然，对于规模较小、缺少自有数学专家团队的企业，可以根据具体的业务需求，在一定的时段内邀请若干数学家深入企业；通过现场观摩、实地调研、与企业专家交流座谈等方式，让数学家感受和了解企业的具体需求，并从数学的角度归纳、提出相应的问题。

4.2 更好地“解决问题”

企业创新中的数学问题从提出到解决，往往还有比较长的路要走。企业提出的数学问题，如果其难度不是很高，可以优先组织企业内部的技术团队进行分析和解决，这样不仅能够缩短周期、降低成本，从而加快产出经济效益，还能使企业内部创新团队得到锻炼和提升。对于那些研究难度很大的前沿问题和“卡脖子”问题，就需要高校和科研机构发挥学科知识、人才储备等方面的优势，组织科研力量进行重点攻关，在解决问题的过程中帮助企业形成核心竞争力，

进而推动企业向原始创新驱动的发展模式转型。

4.3 更好地“反馈效果”

企业创新中数学问题的解决并不意味着实际工程问题的解决，这是一个需要围绕问题解决的效果及时反馈、反复沟通、不断迭代的过程。企业生产的实际过程中往往会遇到很多不符合理论假设的情况出现；此外，前期数据或资料收集、后期工艺设备实现等方面的原因，都可能使数学问题的解决效果大打折扣。因此，虽然实际工程问题的解决以企业技术人员为主，但数学家仍应尽可能跟踪和参与，关注企业技术人员的反馈意见，在实践中检验数学问题的解决情况，为后续改进打下基础。为了让不同机构的人员在这一过程中各尽所能、有效合作，自然需要建立行之有效的组织运行机制，提升信息交换的效率，增进相互理解和共识。

4.4 更好地“评价成果”

近年来，国家持续深化科技成果评价机制改革，多次提出要破除“五唯”，对各类科研人才和科研成果采取更加全面客观、科学合理的评价方式。应用数学的人才和成果评价同样要破除“五唯”，同样也要“有破有立”；而强调成果的“落地”、重点评价科研人员和科研成果是否很好地解决了企业创新过程中的各种关键性难题，应该成为应用数学新评价标准中的重要内容。这实际上也是整个应用数学领域共同面临的重要议题，需要高校、科研机构、企事业单位、学术团体和全体应用数学工作者共同思考和探索；特别是具有广泛代表性和立场中立的行业协会，可在其中发挥重要的作用。

当然，数学问题的提出与解决、效果的反馈等工作，对很多企业来说具有不小的难度。因此，对于那些已经进入需要通过原始创新来推动发展的阶段，但又暂时不具备足够数学实力的企业来说，可以加强与科研院所的合作，通过组建工作组（study group）或联合实验室等新型研发机构的形式，更好地发挥数学推动企业创新发展的作用。目前，不少企业已经意识到了这一点并开始有所行动。不久前，中国工业与应用数学学会与湖南潇湘大数据研究院联合建立了“数学与企业交流合作平台”，其目的就是为了解决数学家难以获取企业在重大需求中面临的数学问题、企业难以找到合适的数学家，以及带技术性的项目商务谈判繁琐等问题，以此来更好地推进我国的数学与工程应用和产业化对接融通，进而提升数学支撑企业创新的能力和水平。

5 总结与展望

随着我国经济社会发展进入新阶段，各行业、各领域愈发强调创新驱动的发展模式。特别是以企业为主体的创新活动，对数学尤其是应用数学提出了更高的期望，同时也给数学学科的发展带来了全新的机遇与挑战。加强应用数学学科建设、促进企业创新发展已经成为国家创新驱动发展战略的重要组成部分，也越来越成为社会各界的广泛共识。此前，科学技术部专门批准成立了13个国家应用数学中心，其目标就是聚焦国家重大科技任务、重大工程、区域及企业发展重大需求中的数学问题，推进数学与工程应用、产业化的对接融通，加强数学家与相关领域科学家、企业家的交流与合作。同时，这些国家应用数学中心也将根据各自依托高校的特点及所在地的需求，有所侧重地开展研究工作。

可以说，如果能有效解决当前我国企业在创新过程中面临的重大技术难题，我国具备原始创新能力的企业就会越来越多，我国在应用数学领域也就越有可能取得突破性进展。一方面，企业创新对应用数学人才的培养提出了新的要求；另一方面，企业不断提出新问题，也让我国应用数学得以在企业创新的土壤中“落地生根”并不断成长壮大，甚至产生一些能够对数学研究本身有影响力和启发意义的问题，从而有力推动应用数学乃至整个数学学科的发展。为此，我们

呼吁相关高校、科研院所和学术团体高度重视并积极投身于数学促进企业创新的历史潮流中，面向国家重大需求和经济主战场，共同营造科学界与企业界相互促进、协同创新的良好生态。

参考文献

1 徐祖哲. 溯源中国计算机. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 2015.

2 袁亚湘. 冯康先生纪念文集. 北京: 科学出版社, 2020.

Mathematics and Enterprise Innovation

ZHANG Pingwen

(School of Mathematical Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The innovation and development of China are inseparable from mathematics. The development of applied mathematics, embodied in scientific discovery, national defense construction and enterprise innovation, is mainly driven by national demand. At present, China's economy has entered into a period of innovation driven development. Enterprises, as the main participants of national economic activities, need the support of mathematics for innovation and development. Regarding how to promote enterprise innovation through mathematics, this paper puts forward four aspects that we need to pay attention to and improve on: posing problems, solving problems, reporting results, and evaluating results. At the end, the paper discusses the prospect and significance of promoting enterprise innovation through mathematics.

Keywords strategy of innovation-driven development, applied mathematics, enterprise innovation, new R & D institutions



张平文 中国科学院院士，发展中国家科学院院士，美国工业与应用数学学会会士。北京大学副校长，大数据分析与应用技术国家工程实验室主任。中国工业与应用数学学会理事长、*CSIAM-AM*主编。主要从事复杂流体多尺度建模与计算、自适应方法、大数据分析、人工智能数理基础等方面研究。获国家杰出青年科学基金、冯康科学计算奖、国家自然科学奖二等奖，国际工业与应用数学大会和国际数学家大会的大会邀请报告人。E-mail: pzhang@pku.edu.cn

ZHANG Pingwen Academician of Chinese Academy of Sciences, Fellow of the World Academy of Sciences (TWAS)–for the advancement of science in developing countries, Fellow of American Society for Industrial and Applied Mathematics. Professor Zhang is currently Vice President of Peking University, Chairman of National Engineering Laboratory for Big Data Analysis and Applications, President of China Society for Industrial and Applied Mathematics, and Editor-in-Chief of CSIAM-AM. His current research interests include modeling and simulation of soft matter (complex fluids), adaptive method, big data analysis and mathematical basis of artificial intelligence. Winner of National Science Fund for Distinguished Young Scholars, Feng Kang Prize of Scientific Computing, and National Prize of Natural Sciences (Second-Class), and the invited speaker of International Congress of Industrial and Applied Mathematics and International Congress of Mathematicians. E-mail: pzhang@pku.edu.cn

■责任编辑：武一男